

IMÁGENES EN CARDIOLOGÍA

Utilidad del “speckle tracking” en pacientes no oncológicos



César E. Barrera-Avellaneda^{a,*}, Manuel A. Paz^b y Jaime F. Salazar-Niño^c

^a Hospital Universitario Fundación Santa Fe de Bogotá, Colombia

^b Programa de Cardiología Universidad El Bosque, Bogotá, Colombia

^c Facultad de Medicina, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia

Disponible en Internet el 5 de julio de 2019

PALABRAS CLAVE

Ecocardiografía
 speckle tracking;
 Strain;
 Función ventricular
 izquierda;
 Strain auricular
 izquierdo;
 Miocardiopatía

Resumen La evaluación de la función sistólica es fundamental para la toma de decisiones clínicas en cardiología. Los métodos actuales basados en el cálculo de la Fracción de Eyección Ventricular Izquierda como parámetro de la función sistólica, se soportan en medidas volumétricas. Con el advenimiento de la ecocardiografía speckle tracking, se puede determinar el grado de deformación de la fibra miocárdica (Strain) y obtener una medida más directa de la función sistólica, lo cual ha despertado un interés creciente sobre su utilidad en la práctica clínica. Por tanto, en esta revisión se presenta evidencia actualizada sobre la aplicación de la ecocardiografía speckle tracking, en diferentes cardiopatías de origen no oncológico. Por ejemplo, el Strain Longitudinal Global, el parámetro mejor estudiado de la ecocardiografía speckle tracking, provee información pronóstica en enfermedades como la cardiomiopatía hipertrófica y cardiopatía isquémica. Un Strain Longitudinal Global alterado confiere un mayor riesgo de eventos cardiovasculares en pacientes con valvulopatías aórticas y mitral; incluso con Fracción de Eyección Ventricular Izquierda preservada, lo cual abre la posibilidad de anticipar el tiempo de intervención quirúrgica. La ecocardiografía speckle tracking, también permite cuantificar el strain auricular izquierdo, permitiendo evaluar con mayor precisión la función diastólica. Aunque para cada cardiopatía se presentan valores de referencia de Strain, esta técnica aún se encuentra en desarrollo; por tanto, aún no hay valores de corte estandarizados dado la amplia variabilidad inter-proveedores. Sin embargo, por los avances diarios en la técnica de ecocardiografía speckle tracking, se espera que su uso rutinario sea considerado en las guías de práctica clínica futuras como herramienta de decisión clínica.

© 2019 Sociedad Colombiana de Cardiología y Cirugía Cardiovascular. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

KEYWORDS

Speckle tracking
 cardiac ultrasound;
 Strain;

Use of “speckle tracking” in non-cancer patients

Abstract The evaluation of systolic function is fundamental for clinical decision making in cardiology. The current methods based on the calculation of the Left Ventricular Ejection Fraction

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: barreracesar@hotmail.com (C.E. Barrera-Avellaneda).

Left ventricular
function;
Left atrial strain;
Cardiomyopathy

(LVEF) as a parameter of the systolic function are supported in volumetric measurements. With the advent of speckle tracking echocardiography (STE), the degree of deformation of the myocardial fiber (Strain) can be determined and a more direct measure of systolic function can be obtained, which has aroused a growing interest in its usefulness in clinical practice. Therefore, this review presents updated evidence on the application of STE in different heart diseases of non-oncological origin. For example, the Global Longitudinal Strain (GLS), the best-studied parameter of STE, provides prognostic information in diseases such as hypertrophic cardiomyopathy and ischemic heart disease. An altered GLS confers an increased risk of cardiovascular events in patients with aortic and mitral valve disease; even with preserved LVEF, which opens the possibility of anticipating the time of surgical intervention. The STE also allows the quantification of left atrial strain, allowing a more accurate assessment of diastolic function. Although reference values of Strain are presented for each cardiopathy, this technique is still in development; therefore, there are still no standardized cut-off values given the wide inter-vendor variability. However, due to the daily advances in the STE technique, it is expected that its routine use will be considered in future clinical practice guidelines as a clinical decision tool.

© 2019 Sociedad Colombiana de Cardiología y Cirugía Cardiovascular. Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Introducción

La evaluación de la función ventricular se basa en el uso y avance de varias técnicas, entre ellas la más conocida y ampliamente desarrollada es el cálculo de la fracción de eyección ventricular izquierda (FEVI) a partir del ecocardiograma transtorácico (ETT) en 2 dimensiones (2D). El método preferido para dicho cálculo es el biplano modificado de Simpson, que a partir de las proyecciones apical de dos y cuatro cámaras permite la cuantificación de los volúmenes finales sistodiastólicos y por ende de la FEVI¹. Sin embargo, al ser 2D transforma áreas en volúmenes y deja de ser tan exacto, especialmente en pacientes con gran deformidad de la arquitectura ventricular izquierda o disfunción sistólica regional². Lo anterior a su vez se ve especialmente influenciado por aspectos técnicos como una visualización correcta del endocardio y del ápex, el ciclo respiratorio, la posición y angulación tanto del transductor como del paciente, entre otros³. Por último, en el ETT existe una amplia variabilidad intra- e interobservador en la FEVI que puede ir desde un 8 hasta un 18% de acuerdo con la serie evaluada⁴.

Algunas limitaciones mencionadas han sido superadas parcialmente con el advenimiento de la ecografía en tres dimensiones (eco 3D) y la resonancia magnética nuclear (RMN) debido a una mayor precisión en el cálculo de volúmenes^{5,6}. Sin embargo, estas continúan siendo medidas volumétricas, mas no indicadores directos del comportamiento y la función de la fibra muscular.

Desde finales del siglo XX, a partir del ecocardiograma 2D, el doppler tisular y el uso de algoritmos en el procesamiento de las imágenes se han podido identificar unidades acústicas (speckles) dentro de una región miocárdica de interés y seguir el desplazamiento temporo-espacial de las mismas (speckle tracking) de acuerdo con la magnitud de deformación (*strain*) de dicha región miocárdica (fig. 1) y por ende de su capacidad contráctil^{7,8} (fig. 2).

La técnica de la ecocardiografía *speckle tracking* (STE por su sigla en inglés) con el paso de los años se ha convertido en una ventana a través de la cual es posible asomarse con

mayor exactitud a la mecánica ventricular y entender así la función sistólica, ya no sólo en términos de volúmenes y/o FEVI, sino de deformación de sus fibras miocárdicas⁹. Dicha deformación o *strain* se puede evaluar en las fibras que van desde el ápex a la base (*strain* longitudinal), así como las que van en dirección radial (*strain* radial) y circunferencial (*strain* circunferencial). No obstante, tanto el *strain* radial como el circunferencial tienen problemas de exactitud y reproducibilidad, por lo que el *strain* longitudinal es el que está mejor validado para la implementación rutinaria en la práctica clínica¹⁰. Cuando se obtiene un promedio del *strain* longitudinal de los 16 segmentos miocárdicos del ventrículo izquierdo (ventrículo izquierdo), se alude a *strain* longitudinal global (SLG).

Los valores de referencia de acuerdo con los diferentes metaanálisis para el SLG varían entre -15,9% y -22,1% con una media de -19,7% e intervalo de confianza (IC) del 95%¹¹⁻¹³. Pese a que existen diferencias según las distintas marcas de equipos que tiene y han desarrollado la técnica, en la actualidad se considera que un valor de -20% con una desviación estándar (DE) de ± 2 en el SLG, corresponde a una deformación normal. La reproducibilidad intra- e interobservador es buena e incluso superior con los otros parámetros ecocardiográficos que evalúan la función ventricular¹⁴.

En la actualidad se están estandarizando las medidas y se han encontrado factores demográficos y fisiológicos determinantes de estas¹⁵ como aquellos dependientes de raza, edad, sexo, condiciones hemodinámicas, uso de medicamentos y aun en situaciones de adaptaciones fisiológicas como en el caso de los atletas y las embarazadas.

Con base en lo anterior, el propósito de este capítulo es evaluar la utilidad y las aplicaciones clínicas de la STE y del SLG en condiciones patológicas diferentes a la evaluación de la cardiotoxicidad (que es motivo de otro capítulo en esta publicación), además de establecer, en la medida de lo posible, en cada caso, el valor pronóstico de esta herramienta diagnóstica. Se discutirá el papel del SLG en la miocardiopatía hipertrófica y la hipertrofia ventricular por otras causas y su diferenciación con el corazón de atleta o adaptación fisio-

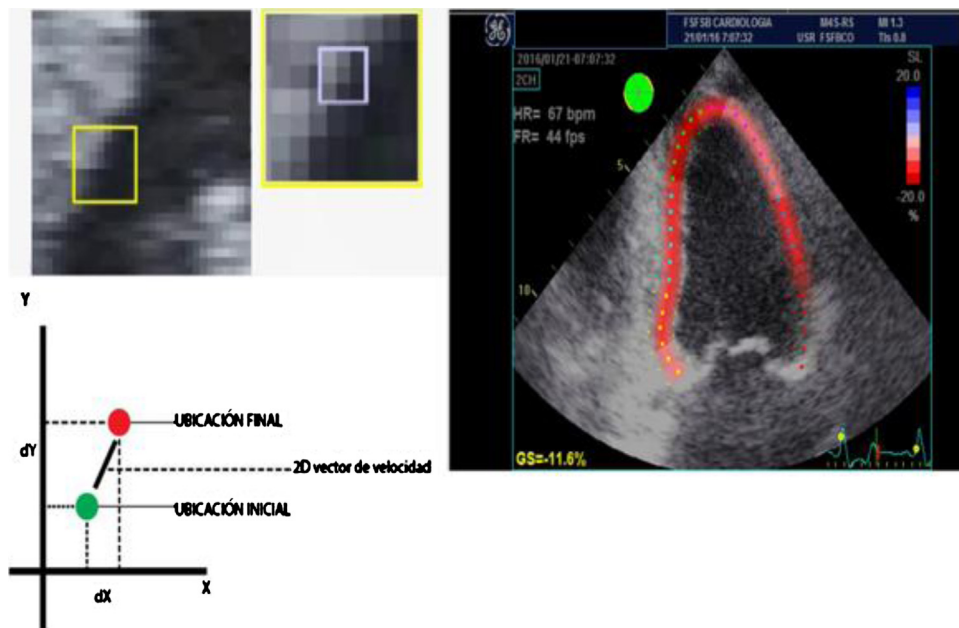


Figura 1 Desplazamiento de marcadores acústicos obtenidos de una escala de grises de las imágenes ecocardiográficas (izquierda). En la parte inferior izquierda: gráfica adecuada para ilustrar el comportamiento en un vector de velocidad de acuerdo con la ubicación final respecto a la inicial de la unidad acústica, lo cual permite el cálculo del porcentaje de la deformidad de la fibra en la imagen 2D (imagen derecha).

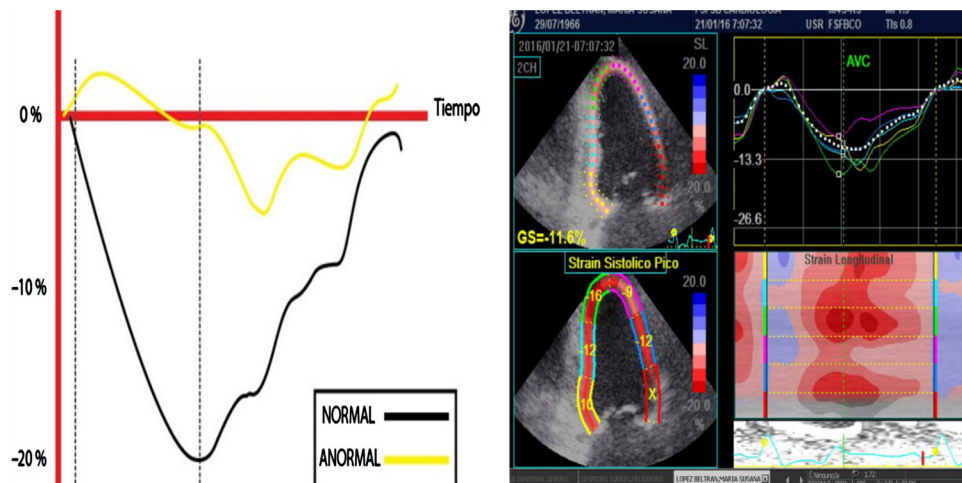


Figura 2 Esquema diseñado para ilustrar la magnitud de la deformación de la fibra en una escala negativa para el *strain* L longitudinal y la velocidad sobre una escala de tiempo. Los valores correspondientes a menor porcentaje de deformidad indican anormalidad y viceversa. A la derecha, imagen real en estudio del SL en paciente con afectación de la función ventricular izquierda; la línea punteada blanca corresponde al promedio del *strain* de todos los segmentos.

lógica al ejercicio; la enfermedad isquémica, la insuficiencia cardíaca con FEVI preservada, y valvulopatías tan relevantes y frecuentes como la estenosis aórtica y la insuficiencia mitral y su aplicación para la evaluación de la función de la aurícula izquierda.

Strain en miocardiopatía hipertrófica e hipertrofia ventricular izquierda

En los pacientes con miocardiopatía hipertrófica existe un denominador común propio de esta entidad, que es la dis-

crepancia entre los valores de la función ventricular y el comportamiento de la fibra muscular¹⁶. Varios estudios han mostrado que la alteración en la arquitectura de la cavidad ventricular en la disposición de los músculos papilares (la inserción de estos y su relación con las válvulas), la presencia de tractos fibrosos anómalos, sumados a la fibrosis y desorganización de las fibras musculares, contribuyen a una deformación anormal, la cual se hace evidente en el momento de practicar la cuantificación de *strain* longitudinal, radial y circunferencial. Así lo demostró un estudio de corte transversal que comparó a 150 pacientes con miocardiopatía

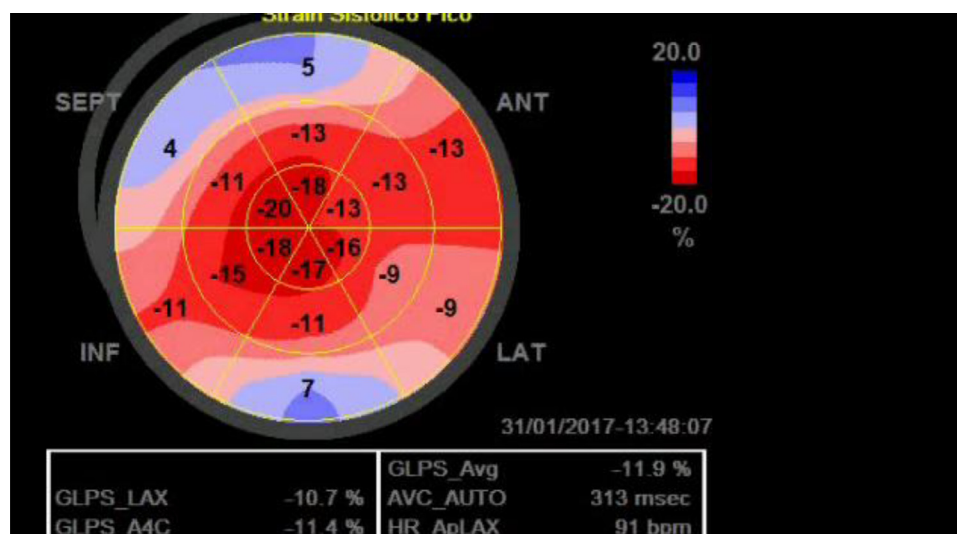


Figura 3 Paciente con amiloidosis cardíaca. Se aprecia el compromiso temprano de los segmentos basales en la evaluación con el SLG aun con FEVI conservada, lo cual hace posible diferenciarla de otras causas de hipertrofia ventricular izquierda.

hipertrofica vs. 50 pacientes sanos y encontró que, aunque ambos grupos de pacientes tuvieron una FEVI similar ($61 \pm 5\%$ vs. $61 \pm 8\%$ $p 0,77$) sí hubo diferencia significativa en los valores basales del SLG ($-15,7 \pm 3,6\%$ vs. $-21,1 \pm 1\%$ $p 0,001$), lo que al final se relaciona con un porcentaje mayor de fibrosis miocárdica y un riesgo incrementado de arritmias ventriculares, especialmente si el SLG era menor a $-14,7\%$ ¹⁷. Asimismo, otras cohortes de pacientes con diagnóstico de miocardiopatía hipertrófica han encontrado que valores de SLG menores a -16% confieren mayor riesgo de presentar eventos cardiovasculares y mayor mortalidad; especialmente en aquella mayor afectación del valor del SLG, tanto así que pacientes con SLG -10% tienen cuatro veces más riesgo de presentar un evento cardiovascular comparado con pacientes con miocardiopatía hipertrófica y un SLG de -16% ^{18,19}.

Lo mencionado tanto para la miocardiopatía hipertrófica como para ventrículos con engrosamiento de la pared por cualquier causa, está claramente reconocido como una limitación de la FEVI para la evaluación de la función ventricular y como predictor pronóstico, y es ahí donde el *strain* adquiere una importancia clave en el reconocimiento de la disfunción sistólica incluso cuando la FEVI es normal²⁰.

La relación que existe entre la fracción de eyección y los valores de *strain* en condiciones normales, permite establecer que el ratio entre estos valores (FEVI/SLG) genera un valor cercano a 3 y que en la medida que se deteriora la deformación de la fibra este valor se incrementa, como lo que ocurre precozmente en los pacientes con amiloidosis cardíaca tanto para el *strain* longitudinal global como segmentario (mayor afectación en segmentos basales para esta enfermedad) con lo cual se establece un valor pronóstico en esta enfermedad y se hace posible diferenciarla de otras causas de hipertrofia ventricular izquierda^{21,22} (fig. 3).

Tal vez la causa más frecuente de hipertrofia ventricular izquierda es la hipertensión arterial en la que los valores de *strain* longitudinal global están reducidos en forma significativa al compararlos con los de pacientes normales y mucho más deteriorados en aquellos pacientes hipertensos con falla cardíaca con FEVI preservada²³. En la hipertrofia ventricular

izquierda de igual manera existe un desarreglo de las fibras y en algunos casos fibrosis, lo cual genera una alteración global y regional bien conocida en los diferentes estudios que comparan el impacto de la hipertrofia en el *strain* de estos individuos respecto a los sujetos sanos, demostrándose así una asociación directa entre el incremento en la masa ventricular y la reducción en la deformidad en el *strain* longitudinal circunferencia y radial²⁴. No obstante, la afectación más temprana en cuanto se refiere a la severidad de la hipertrofia ventricular izquierda se da en el SLG respecto a los otros dos (fig. 4).

Uno de los capítulos más interesantes en el contexto de la miocardiopatía hipertrófica y la hipertrofia ventricular izquierda es la diferenciación de estas condiciones con la hipertrofia adaptativa o fisiológica que desarrolla el atleta sometido a un entrenamiento continuo²⁵. Pese a que existen condiciones asociadas a atletas de alto rendimiento como son el tamaño ventricular y auricular izquierdo (facilitándole al atleta un manejo más eficiente del volumen y el gasto cardíaco), el grosor del septum, que usualmente no supera los 15 mm, y un patrón de llenado y relajación ventricular normales, existe una zona gris donde estos cambios no están plenamente establecidos y se superponen con casos de miocardiopatía hipertrófica con grosor de la pared menor a los 15 mm. Por consiguiente es vital utilizar todos los recursos que permitan hacer la diferenciación entre estas entidades (por ejemplo dispersión mecánica). En la hipertrofia fisiológica o adaptativa del atleta los valores del SLG son mayores al compararlos con los casos de miocardiopatía hipertrófica ($18 \pm 2\%$ vs. $15 \pm 3\%$, $p 0,0001$), encontrándose asimismo que los valores de SLG son muy similares tanto en los atletas con hipertrofia fisiológica como en los controles normales ($18 \pm 2\%$ vs. $19 \pm 2\%$ $p 0,2$)^{26,27}.

Strain en estenosis aórtica

La ecocardiografía se ha considerado la técnica de elección para la valoración de la válvula aórtica. Sin embargo, la estenosis aórtica avanzada se acompaña de disfunción sistólica

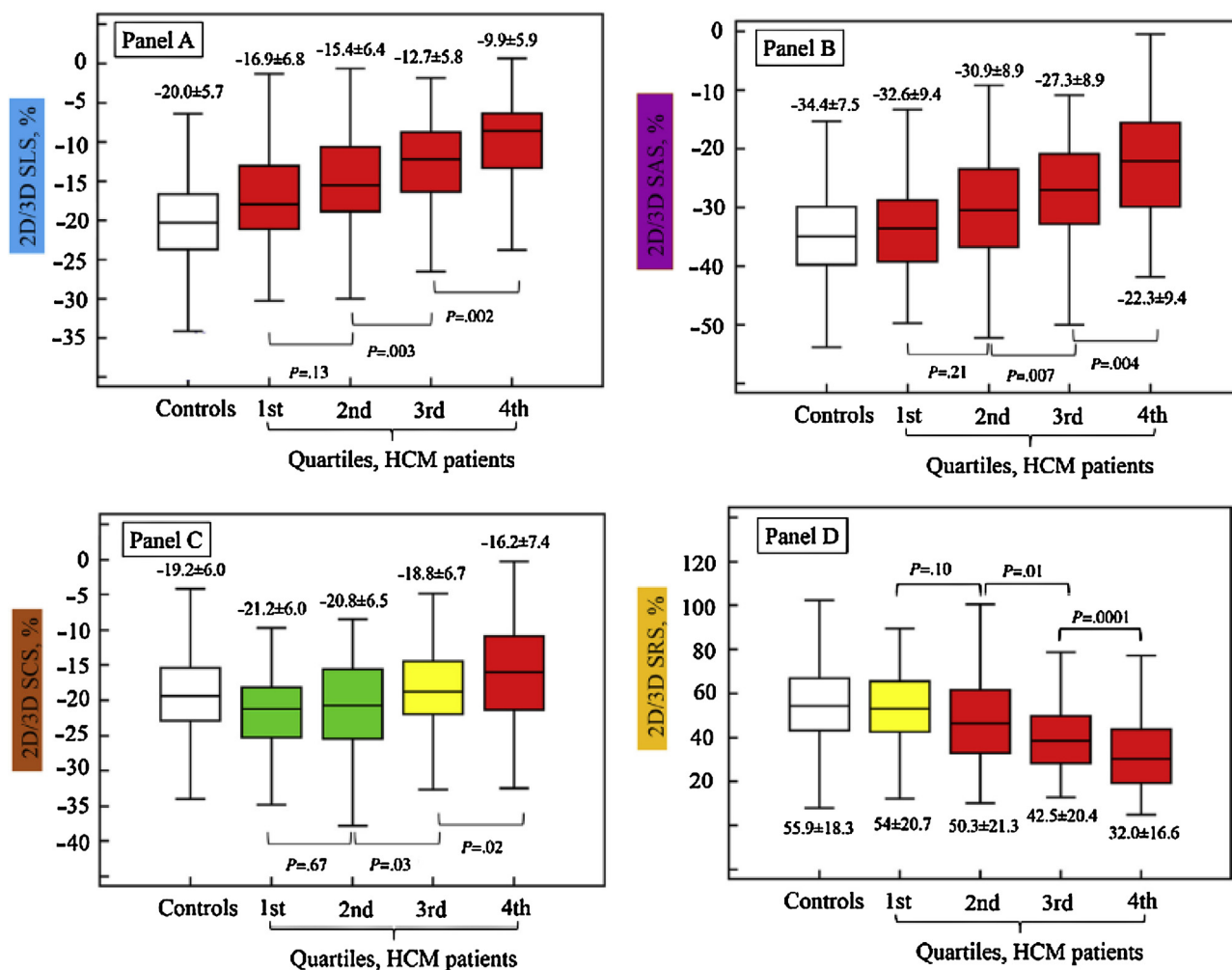


Figura 4 El SLG se afecta en forma temprana en los pacientes con miocardiopatía hipertrófica aún con grados leves de hipertrofia (rectángulo superior izquierdo). El SCG y el SRG lo hacen de forma más tardía, manteniendo la función ventricular en las fases iniciales (rectángulos inferior izquierdo y derecho, respectivamente). Las gráficas de este estudio muestran la división por cuartiles de la severidad de la hipertrofia ventricular izquierda. Tomado de: J Am Soc Echocardiogr. 2015;28:1093-102.

ventricular izquierda preclínica, difícilmente detectable mediante ecocardiografía convencional dada la importante proporción de pacientes con FEVI preservada^{28,29}. No obstante, se ha demostrado que en los pacientes con estenosis aórtica severa la contractilidad medida por SLG mediante ecocardiografía puede mostrarse significativamente reducida a pesar de tener una FEVI normal^{30,31}, debido al importante proceso fibrótico secundario al desequilibrio crónico y progresivo entre la oferta de oxígeno (ej. perfusión coronaria insuficiente) y la demanda (ej. masa ventricular incrementada), lo que conduce finalmente a disfunción sistólica subclínica^{32,33}. El grado y la extensión de la alteración del SLG también se ha asociado a la severidad de la hipertrofia ventricular concéntrica, apoyando así la teoría de relación directa entre el remodelado y la función del ventrículo izquierdo^{34,35}. Con base en lo anterior se ha demostrado que cuanto más severa sea la estenosis aórtica, más bajo es el SLG^{36,37}.

El STE surge entonces como una herramienta valiosa para la detección temprana de disfunción ventricular en

pacientes con estenosis aórtica severa. En el escenario de la estenosis aórtica severa asintomática con FEVI preservada, varios estudios observacionales evidenciaron que valores bajos en el SLG ($SLG < -15\%$) se han relacionado con mayor riesgo de desarrollo de síntomas, necesidad de cirugía de reemplazo valvular y muerte^{38,39}. Incluso, en este grupo de pacientes una alteración en el SLG se ha asociado con riesgo incrementado de fibrilación auricular posoperatoria independientemente del tamaño auricular y de la edad⁴⁰. Por otro lado, el *strain* longitudinal regional en la estenosis aórtica también adquiere importancia dado que un *strain* longitudinal basal menor a -13% tiene la asociación más fuerte con la aparición de síntomas en los pacientes previamente asintomáticos⁴¹.

Independientemente de la presencia o no de síntomas, en la estenosis aórtica de alto gradiente con FEVI preservada, diversos estudios de cohortes han demostrado que existe una relación inversamente proporcional entre el valor del SLG y mortalidad por todas las causas⁴²⁻⁴⁴. Ng ACT *et al.* publicaron el estudio más grande (688 pacientes) que ha

demostrado el valor pronóstico independiente del SLG en estenosis aórtica severa; allí encontraron que los pacientes con disfunción miocárdica subclínica (FEVI normal y SLG < -14%) tuvieron una supervivencia acumulada menor que en los pacientes con SLG normal al término de un año (92,3% DE 4,4% vs. 77,7% DE 8,5% respectivamente, Long Rank $p < 0,024$), y no hubo diferencias en la supervivencia a un año entre aquellos pacientes con estenosis aórtica severa con FEVI disminuida y estenosis aórtica severa con FEVI preservada, pero un SLG alterado⁴⁵. Por otra parte, en lo que se refiere a estenosis aórtica severa de bajo flujo – bajo gradiente con FEVI preservada, tener un SLG alterado se ha asociado con mayor riesgo de mortalidad por todas las causas⁴⁶; de otra parte, en los pacientes con estenosis aórtica de bajo flujo-bajo gradiente con FEVI disminuida ningún estudio a la fecha ha evaluado el valor diagnóstico del SLG para diferenciar la estenosis aórtica de una pseudoestenosis.

Recientemente se ha generado gran interés en la valoración ventricular mediante técnica de *strain* antes y después del reemplazo valvular aórtico en pacientes con estenosis aórtica, tanto para su reconocimiento, como para su pronóstico y la predicción de recuperación funcional posoperatoria. Al parecer, el reemplazo valvular también se asocia con mejoría en el SLG y del *strain* circunferencial^{47,48}. Dahl *et al.* en 2009 evaluaron 125 pacientes con estenosis aórtica severa y FEVI > 40% durante el preoperatorio y fueron separados en cuatro subgrupos de acuerdo con el valor del SLG y fueron seguidos a 4 años. Se encontró una tasa superior de eventos cardiovasculares mayores y hospitalizaciones por falla cardíaca en los pacientes con menor SLG, incluso demostrándose que este es un mejor predictor independiente de eventos cardiovasculares mayores y aun mejor que el Euroscore, en los pacientes con estenosis aórtica severa programados para reemplazo valvular⁴⁹.

Todo lo anterior sugiere que incorporar el SLG en los modelos actuales de riesgo de estenosis aórtica puede en un futuro optimizar el tiempo para un reemplazo valvular aórtico, dado su capacidad de detectar precozmente disfunción sistólica comparado con la FEVI⁵⁰. El SLG no se ha incluido aún en las Guías Internacionales para la evaluación de la estenosis aórtica severa; sin embargo, las guías recientes de valoración multi imagen aprueban con recomendación clase IIb el procedimiento quirúrgico para los pacientes con estenosis aórtica severa asintomática con gradientes tanto altos como paradójicamente bajos, que muestran valores de *strain* alterados⁵¹.

Respecto a los *strain* circunferencial (SC) y radial (SR) estos pueden estar reducidos, normales o aumentados, dado que evalúan también la deformación de las fibras epicárdicas y estas son las últimas en sufrir el proceso isquémico crónico de la hipertrofia ventricular izquierda. En consecuencia, y dado que el SLG valora fundamentalmente la deformación de las fibras endocárdicas (las que primero sufren alteración por ser la zona con menor irrigación de la pared miocárdica), está mejor relacionado con la severidad de la estenosis aórtica, fenómeno que explica que los valores de los SC y SR puedan estar normales o elevados en estadios iniciales de la estenosis aórtica como medida compensatoria, pero, así mismo, cuando la estenosis aórtica es muy severa, estos pueden estar globalmente disminuidos y conferir mayor riesgo de mortalidad en comparación con aquellos pacientes en quienes el SC y el SR no están alterados^{42,52,53}.

Strain en insuficiencia mitral

El SLG también ha emergido como una estrategia no invasiva para detectar disfunción miocárdica subclínica en el contexto de una FEVI falsamente hiperdinámica en insuficiencia mitral severa primaria⁵⁴. Witkowski *et al.* demostraron cómo los pacientes con insuficiencia mitral severa orgánica y FEVI mayor al 60% que desarrollaron disfunción del ventrículo (FEVI < 50%) luego de la reparación valvular, tenían mayor alteración de base del SLG en comparación con los pacientes con FEVI mayor al 50% en el posoperatorio, encontrándose así un valor de corte de -19,9% en el SLG con una sensibilidad del 90% y una especificidad del 79% para predecir disfunción ventricular izquierda a largo plazo⁵⁵. Posteriores estudios han arrojado resultados similares, que confirman que un SLG basal alterado puede predecir disfunción del ventrículo izquierdo después de una cirugía de válvula mitral en pacientes con FEVI previamente normal⁵⁶⁻⁵⁸, e incluso que es un predictor independiente para mortalidad por todas las causas (cociente de riesgo 1,19 por cada unidad de disminución en el SLG, $p < 0,001$)⁵⁶.

En casos de insuficiencia mitral funcional, el SLG frecuentemente mostró peor función sistólica del ventrículo izquierdo y desenmascaró el verdadero daño a la contractilidad ventricular, fuera de que aportó información más allá de la FEVI, la cual como ya se había mencionado, representa sólo un cambio entre el volumen de fin de diástole y sístole y no en sí la calidad de contractilidad miocárdica, como sí lo evalúa el *strain*. Un estudio mostró que a pesar de una FEVI similar, los pacientes con miocardiopatía dilatada asociada a insuficiencia mitral funcional severa tuvieron peor SLG en comparación con aquellos sin insuficiencia mitral funcional ($-9,78 \pm 3,78\%$ vs. $-8,08 \pm 3,33\%$; $p = 0,004$)⁵⁹.

Otros estudios también han evaluado el valor pronóstico incremental de la capacidad de ejercicio/reserva contráctil para predecir la supervivencia a largo plazo en infarto de miocardio primaria crónica. Por ejemplo, Kusunose *et al.* encontraron que la ausencia de incremento en el SLG durante el pico de ejercicio en pacientes con insuficiencia mitral moderada a severa orgánica asintomáticos, se asoció con aumento del punto compuesto de muerte cardiovascular, requerimiento de reemplazo valvular y hospitalización por falla cardíaca (HR:1,6; IC95%:1,1-2,3; $p = 0,01$)⁶⁰.

Strain en cardiopatía isquémica

El desbalance entre la demanda y la oferta de oxígeno miocárdico conlleva alteración o pérdida de la función contráctil de la fibra miocárdica. Dicha disfunción puede presentarse durante horas a días luego del evento isquémico sin haber daño estructural o muerte celular de base (aturdimiento posisquémico). Puede manifestarse como disfunción contráctil por hipoperfusión crónica recuperable mediante revascularización apropiada y temprana (hibernación), o puede manifestarse como necrosis, cicatrización y remodelación cuando el proceso isquémico es persistente y produce muerte celular⁶¹. Pues bien, se ha demostrado que la STE tiene utilidad en todo el espectro de la cardiopatía isquémica tanto como herramienta diagnóstica de infarto del miocardio y pronóstica postinfarto miocárdico, que como método de estratificación no invasivo de enfermedad coro-

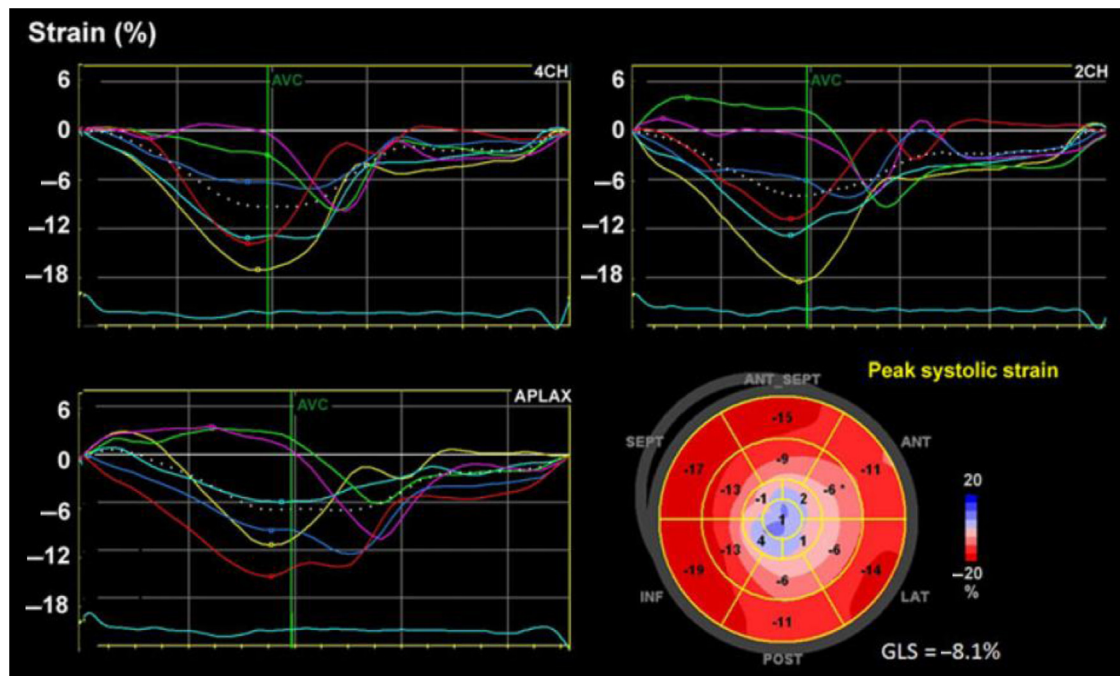


Figura 5 Paciente con infarto de miocardio anterior. Cada trazo representa un segmento del ventrículo izquierdo. Los segmentos apicales están disquinéticos (color azul en el mapa polar) mientras los otros segmentos están hipoquinéticos. Tomada de: Smiseth OA, Torp H, Opdahl A, Haugaa KH, Urheim S. Myocardial strain imaging: how useful is it in clinical decision making? *Eur Heart J.* 2016;37:1196–1207.

naria y como indicador de viabilidad miocárdica postinfarto miocárdico.

Se ha encontrado que la ecocardiografía *strain* es altamente sensible y específica en el diagnóstico de infarto de miocardio dada su buena capacidad de diferenciación entre la contracción activa del movimiento pasivo de la pared miocárdica (fig. 5)⁶². Leitman *et al.* en un estudio de 30 pacientes con enfermedad coronaria, hallaron que hasta el 80% de los segmentos verdaderamente infartados y 98% de los segmentos completamente normales, eran identificados adecuadamente mediante el uso de ecocardiografía *strain*⁶³.

En la población general el SLG también provee información pronóstica en cuanto a morbilidad y mortalidad cardiovascular posterior a infarto de miocardio. Haugaa *et al.* encontraron que una combinación de la dispersión mecánica y el *strain* global muestran el mejor valor predictivo positivo para eventos arrítmicos (21%; IC95%: 6–46%) en pacientes con FEVI residual >35% posterior a un síndrome coronario agudo (SCA), lo cual puede mejorar la selección de pacientes post infarto de miocardio para la terapia con cardiodesfibrilador, particularmente en pacientes con FEVI >35% en quienes no se cumplen las indicaciones actuales para cardiodesfibrilador implantable⁶⁴. Posteriormente, Biering-Sørensen *et al.* encontraron que un valor bajo de SLG post infarto de miocardio se asoció con alto riesgo del desenlace primario de falla cardíaca, nuevo infarto de miocardio o muerte cardiovascular (cociente de riesgo, 1,12; IC95%, 1,08–1,17; $p < 0,001$ por cada 1% de descenso en el valor del SLG)⁶⁵.

Respecto a la utilidad de la STE en el estudio de viabilidad miocárdica se ha encontrado una buena correlación entre el *strain* longitudinal y la extensión de la cicatrización pos

infarto evaluada mediante resonancia magnética cardíaca. Se sabe que valores de *strain* longitudinal menores de $-4,5\%$ en regiones de miocardio con extensa cicatrización evidenciada por resonancia, tienen sensibilidad y especificidad del 81% para predicción de miocardio no viable⁶⁶. Por tanto, la medición del *strain* puede convertirse en una herramienta fácil, rápida y económica para la evaluación de viabilidad de segmentos posinfarto, antes de la utilización de otros medios diagnósticos más complejos.

Otra promisoriosa aplicación de la STE es predecir la presencia y severidad de estenosis coronaria en pacientes con sospecha de angina estable, optimizando los métodos de estratificación no invasiva que existen en la actualidad^{67,68}. Biering-Sørensen *et al.* encontraron que los pacientes con angina de pecho y enfermedad arterial coronaria (EAC) significativa (estenosis >70% en la luz de una arteria epicárdica), tenían un valor menor en el SLG comparado con los que no tenían EAC significativa ($-17,1 \pm 2,5\%$ vs. $-18,8 \pm 2,6\%$; $p < 0,001$) y el SLG permanece como un predictor independiente para EAC significativa (razón de probabilidades, 1,25 [$p = 0,016$] por cada 1% de descenso en el SLG). Igualmente, se evidenció que adicionar la medición del SLG a una prueba de esfuerzo mejora las características operativas del test al aumentar el área bajo la curva (ABC) de 0,78 (prueba de esfuerzo sola) a 0,84 (prueba de esfuerzo más SLG) $p = 0,007$ ⁶⁷. Posteriormente, Radwan *et al.* hallaron un valor en el SLG de $-15,6\%$ [ABC 0,88, IC95% 0,78–0,96 $p < 0,000$], con sensibilidad, especificidad y exactitud del 93,1%; 81,8% y 90% respectivamente, para el diagnóstico de EAC significativa⁶⁸. Por último, en ambos estudios, cuanto más severa fue la EAC menor el SLG.

En cuanto al SC este ha demostrado mejor capacidad de diferenciación entre infartos transmurales y no transmura-

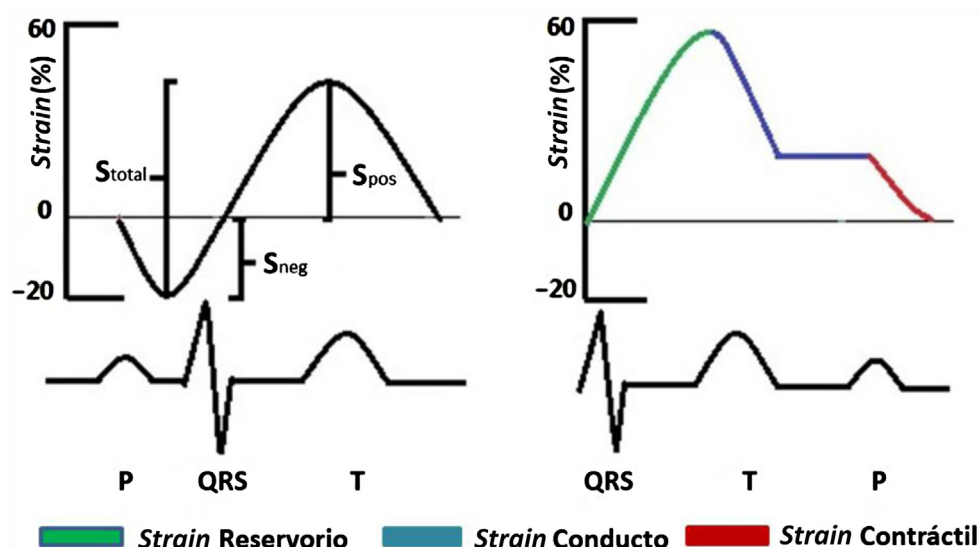


Figura 6 Nomenclatura del *strain* auricular con base en el punto de referencia cero.

les en comparación con los otros tipos de *strain* e incluso con los puntajes visuales ecocardiográficos de motilidad segmentaria, con sensibilidad y especificidad de hasta 75 y 78%, respectivamente⁶⁹.

Las guías actuales aún no recomiendan la cuantificación del *strain* debido a la ausencia de rangos de referencia, baja reproducibilidad e importante variabilidad inter observador en el contexto del paciente con enfermedad coronaria.

Strain en falla cardíaca con fracción de eyección preservada

Aunque todavía no se ha establecido la relación entre los síntomas por falla cardíaca (FC) y los hallazgos del *strain*, el *strain* del ventrículo izquierdo representa una herramienta de ayuda para diferenciar el origen de la disnea. El uso del SLG junto con otros parámetros de función diastólica como E/e', E/A y biomarcadores como el NT-proBNP pueden ayudar a establecer el diagnóstico de falla cardíaca con FEVI preservada. Un estudio demostró correlaciones importantes entre los parámetros del *speckle tracking* y los índices convencionales de disfunción diastólica y presiones de llenado⁷⁰.

Kosmala et al. realizaron test de ejercicio cardiopulmonar a 207 pacientes con falla cardíaca con FEVI preservada sintomáticos (NYHA II y III) y 60 asintomáticos con tolerancia normal al ejercicio, disfunción diastólica, hipertrofia ventricular izquierda y/o SLG reducido. Luego del ejercicio, la relación E/e' disminuyó levemente en los pacientes asintomáticos con FC con FEVI preservada, mientras que en pacientes sintomáticos la relación aumentó significativamente. Por otra parte, el SLG incrementó luego del ejercicio en ambos grupos, principalmente en el grupo asintomático. Las curvas ROC demostraron que el comportamiento del SLG durante el ejercicio representa el mejor predictor de falla cardíaca con fracción de eyección preservada sintomática, mucho mejor que el comportamiento de la FEVI y la E/e' durante el ejercicio⁷¹.

El estudio PARAMOUNT confirmó que el SLG es mucho más bajo en pacientes con falla cardíaca con fracción de eyección preservada que en los controles y pacientes hipertensos ($-20,0 \pm 2,1$ vs. $-17,07 \pm 2,04$ vs. $-14,6 \pm 3,3\%$, respectivamente, $p < 0,001$ para todos). De igual modo, menores valores de SLG se asociaron a mayores niveles de pro-BNP⁷².

El estudio TOPCAT no sólo mostró que el SLG era significativamente menor en pacientes con falla cardíaca con fracción de eyección preservada sino también que el SLG disminuido (definido como $< -15,8\%$) era predictor del desenlace compuesto (muerte cardiovascular, hospitalización por falla cardíaca, o paro cardíaco abortado), muerte cardiovascular y hospitalización por falla cardíaca independientemente de parámetros clínicos o ecocardiográficos convencionales⁷³.

Sin embargo, un metaanálisis reciente que analizó 2.284 pacientes con falla cardíaca con fracción de eyección preservada y 2.302 controles, confirma que, aunque el SLG del ventrículo izquierdo está significativamente alterado en una alta proporción de pacientes con falla cardíaca con fracción de eyección preservada, se necesitan más estudios multicéntricos de gran tamaño con el objetivo de confirmar la función pronóstica de la GLS anormal en falla cardíaca con fracción de eyección preservada, debido a la amplia variabilidad en los resultados de los estudios publicados a la fecha⁷⁴.

Strain en la evaluación de la aurícula izquierda

La aurícula izquierda desempeña un papel fundamental para mantener el llenado del ventrículo izquierdo, ya que funciona como reservorio para el flujo de las venas pulmonares durante la sístole, como conducto para el flujo de la sangre dentro del ventrículo izquierdo durante la diástole temprana y como una bomba durante la diástole tardía⁷⁵. Así, cualquier alteración en la mecánica de la aurícula izquierda se verá reflejada en el llenado ventricular y en una dis-

Tabla 1 Valores normales del *strain* auricular izquierdo, Ecocardiografía speckle tracking

Tipo de <i>strain</i> auricular izquierdo (N*)	Media (95% IC)
Reservorio (2542)	39,4% (38-40,8%)
Conducto (805)	23% (20,7% (20,7-25,2%))
Contráctil (1.005)	17% (16-19%)

* N: tamaño de la muestra

minución de la función cardiovascular total, asociándose a falla cardíaca con fracción de eyección preservada⁷⁶. Por esta razón, en ausencia de fibrilación auricular (ventrículo izquierdo), valvulopatía mitral o gasto cardíaco incrementado, el tamaño y función de la aurícula izquierda sirve como un sustituto de la función diastólica del ventrículo izquierdo⁷⁷.

Teniendo en cuenta que las técnicas ecocardiográficas actuales para medir la función diastólica tienen diversas limitaciones (por ejemplo: dependencia del ángulo, calcificación del anillo mitral, disfunción regional, arritmias, entre otras), la STE surge como una alternativa de medición en tales casos⁷⁷. Únicamente el *strain* longitudinal se mide en la aurícula izquierda debido a la orientación de las fibras y a la delgadez de la pared auricular. El *strain* longitudinal medido en la aurícula izquierda a su vez se puede dividir en tres fases: fase de reservorio durante la sístole ventricular, la cual obliga a la aurícula izquierda a distenderse para el llenado por las venas pulmonares por tal razón el valor es positivo; fase de conducto, cuando se abre la válvula mitral la aurícula vacía su contenido en el ventrículo izquierdo y el *strain* disminuye manteniéndose en forma de meseta lo cual corresponde a la diástasis y finalmente la fase contráctil en la cual la aurícula izquierda se contrae y la pared auricular se acorta y por consiguiente el *strain* será negativo (fig. 6). Pathan *et al.* publicaron un metaanálisis a partir del cual determinaron los valores de corte para el *strain* de reservorio, conducto y contráctil (tabla 1)⁷⁸.

Hasta un 80% de los pacientes con falla cardíaca con fracción de eyección preservada tienen disfunción diastólica la cual se puede dividir en cuatro grados según el valor del *strain* pico (punto de máxima deformación) en la aurícula izquierda⁷⁹ (tabla 2). A través de estudio hemodinámico el *strain* auricular izquierdo ha demostrado identificar mejor la disfunción diastólica que el volumen auricular izquierdo indexado dada su capacidad de predecir una presión de

fin de diástole del ventrículo izquierdo elevada, un marcador de disfunción diastólica ampliamente utilizado⁸⁰. Asimismo, el *strain* de reservorio ha demostrado ser un mejor predictor que la relación E/e' de una presión de fin de diástole del ventrículo izquierdo mayor a 12 mm Hg⁸¹.

Por otro lado, no todos los pacientes con disfunción diastólica tienen falla cardíaca con fracción de eyección preservada⁷⁶. En una cohorte de 83 pacientes sintomáticos hospitalizados, un SLG de reservorio auricular <17% tuvo sensibilidad del 89% y especificidad del 55% para el diagnóstico de falla cardíaca con fracción de eyección preservada⁸². Otro estudio encontró que el SLG de reservorio auricular comparado con otras variables ecocardiográficas de disfunción diastólica (E/A, E/e' y volumen auricular izquierdo indexado) se relaciona más fuertemente con una presión de cuña pulmonar elevada, mientras que el *strain* contráctil no⁸³. También, en pacientes con diagnóstico de falla cardíaca con fracción de eyección preservada, tanto el *strain* de reservorio, como conducto y contráctil están asociados con el desenlace compuesto de hospitalización cardiovascular o muerte y un *strain* de reservorio alterado se asocia a un volumen de aurícula izquierda y a una masa de ventrículo izquierdo incrementados, al igual que a péptidos natriuréticos elevados, presión de arteria pulmonar y resistencia vascular pulmonar elevada; y gasto cardíaco y consumo pico de oxígeno disminuidos⁸⁴.

Aunque se requiere validación adicional, el *strain* de la aurícula izquierda puede ayudar en el diagnóstico de la falla cardíaca con fracción de eyección preservada, estimar con exactitud las presiones de llenado del ventrículo izquierdo, así como la capacidad funcional y proveer información pronóstica relevante⁷⁶. Por el momento, el escaso grosor parietal auricular izquierdo, la presencia de la aurícula y el flujo de las venas pulmonares generan limitación en la aplicación de este método, aunado a la ausencia de estandarización de medidas, lo cual requiere estudios prospectivos⁸⁵.

Finalmente, en la actualidad se estudian otras múltiples y potenciales aplicaciones del *strain* de la aurícula izquierda, como por ejemplo la predicción de desarrollo del ventrículo izquierdo en enfermedad renal crónica, neumopatías y accidente cerebrovascular. De igual forma, se estudia el impacto para predecir recurrencia de ventrículo izquierdo postprocedimientos electrofisiológicos y el riesgo trombótico en pacientes con esta enfermedad. Recientemente el *strain* de aurícula izquierda también se ha asociado como indicador de la necesidad de cirugía cardíaca temprana en insuficiencia mitral moderada-severa.

Financiación

Ninguna.

Bibliografía

1. Lang RM, Bierig M, Devereux RB, Flachskampf FA, Foster E, Pellikka PA, et al., Chamber Quantification Writing Group; American Society of Echocardiography's Guidelines and Standards Committee; European Association of Echocardiography. Recommendations for chamber quantitation: A report from the American Society of Echocardiography's Guidelines and

Tabla 2 Valores de *strain* pico auricular izquierdo y asociación con la disfunción diastólica

Grado de disfunción diastólica	Media de SAI (+ DE)	Valores de corte de SAI potenciales
Grado 0	37% ± 13	>35%
Grado 1	29% ± 8	24-35%
Grado 2	22% ± 9	19-23%
Grado 3	13% ± 6	<19%

SAI: *strain* auricular izquierdo. DE: desviación estándar

- Standards Committee and the Chamber Quantification Group Developed in Conjunction with the European Association of Echocardiography, a branch of the European Society of Cardiology. *J Am Soc Echocardiogr*. 2005;18:1440–63.
2. Aurigemma GP, Gaasch WH. Quantitative evaluation of left ventricular structure wall stress and systolic function. En: Otto CM, editor. *The Practice of Clinical Echocardiography*, 4th. ed. Philadelphia: Saunders; 2012. p. 156–76.
3. Yu EHC, Sloggett CE, Iwanochko RM, Rakowski H, Siu F S.C. Feasibility and accuracy of left ventricular volumes and ejection fraction determination by fundamental, tissue harmonic, and intravenous contrast imaging in difficult-to-image patients. *J Am Soc Echocardiogr*. 2000;13:216–24.
4. van Royen N, Jaffe CC, Krumholz HM, Johnson KM, Lynch PJ, Natale D, et al. Comparison and reproducibility of visual echocardiographic and quantitative radionuclide left ventricular ejection fractions. *Am J Cardiol*. 1996;77:843–50.
5. Dorosz JL, Lezotte DC, Weitzenkamp DA, Allen LA, Salcedo EE. Performance of 3-dimensional echocardiography in measuring left ventricular volumes and ejection fraction: a systematic review and meta-analysis. *J Am Coll Cardiol*. 2012;59:1799–808.
6. Bellenger NG, Burgess MI, Ray SG, Lahiri A, Coats AJ, Cleland JG, et al. Comparison of left ventricular ejection fraction and volumes in heart failure by echocardiography, radionuclide ventriculography and cardiovascular magnetic resonance; are they interchangeable? *Eur Heart J*. 2000;21:1387–96.
7. Abraham TP, et al. *Strain* rate imaging for assessment of regional myocardial function. *Circulation*. 2002;105:1402–6.
8. Del castillo JM. Análisis de la mecánica ventricular por las nuevas técnicas. En: Restrepo G, Lowenstein J, Gutierrez-Fajardo P, Vieira M, editores. *Ecocardiografía e imagen cardiovascular en la práctica clínica*. Bogotá: LEGIS; 2015. p. 345–89.
9. Dandel M, Hetzer R. Echocardiographic *strain* and *strain* rate imaging: clinical applications. *Int J Cardiol*. 2009;132:11–24.
10. Hexeberg E, Homans DC, Bache RJ. Interpretation of systolic wall thickening Can thickening of a discrete layer reflect fibre performance? *Cardiovasc Res*. 1995;29:16–21.
11. Yingchoncharoen T, Agarwal S, Popović ZB, Marwick TH. Normal ranges of left ventricular *strain*: a meta-analysis. *J Am Soc Echocardiogr*. 2013;26:185–91.
12. Kalam K, Otahal P, Marwick TH. Prognostic implications of global LV dysfunction: a systematic review and meta-analysis of global longitudinal *strain* and ejection fraction. *Heart*. 2014;100:1673–80.
13. Kocabay G, Muraru D, Peluso D, Cucchini U, Mihaila S, Padayattil-Jose S, et al. Normal left ventricular mechanics by two-dimensional speckle-tracking echocardiography Reference values in healthy adults. *Rev Esp Cardiol*. 2014;67:651–8.
14. Farsalinos KE, Daraban M, Ünlü S, Thomas JD, Badano LP, Voigt JU. Head-to-head comparison of global longitudinal *strain* measurements among nine different vendors: the EACVI/ASE Inter-Vendor Comparison study. *J Am Soc Echocardiogr*. 2015;28:1171–81.
15. Voigt JU, Pedrizzetti G, Lysyansky P, Marwick TH, Houle H, Baumann R, et al. Definitions for a common standard for 2D speckle tracking echocardiography: consensus document of the EACVI/ASE/Industry Task Force to standardize deformation imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2015;16:1–11.
16. Haland TF, Hasselberg NE, Almaas VM, Dejgaard LA, Saberniak J, Leren IS, et al. The systolic paradox in hypertrophic cardiomyopathy. *Open Heart*. 2017;4:e000571. Disponible en: <https://doi.org/10.1136/openhrt-2016-000571>.
17. Haland TF, Almaas VM, Hasselberg NE, Saberniak J, Leren IS, Hopp E, et al. *Strain* echocardiography is related to fibrosis and ventricular arrhythmias in hypertrophic cardiomyopathy. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2016;17:613–21.
18. Liu H, Pozios I, Haileselassie B, Nowbar A, Sorensen LL, Phillip S, et al. Role of Global Longitudinal *strain* in Predicting Outcomes in Hypertrophic Cardiomyopathy. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2016;17:613–21.
19. Moneghetti KJ, Stolfo D, Christle JW, Kobayashi Y, Finocchiaro G, Sinagra G, et al. Value of *strain* Imaging and Maximal Oxygen Consumption in Patients With Hypertrophic Cardiomyopathy. *Am J Cardiol*. 2017;120:1203–8.
20. Huang SH, Crowley LE, Jefferies HJ, Eldehni MT, Odudu A, McIntyre CW. The impact of hemodialysis on segmental and global longitudinal myocardial *strain*. *Can J Cardiol*. 2014;30:1422–8.
21. Buss SJ, Emami M, Mereles D, Korosoglou G, Kristen AV, Voss A, et al. Longitudinal left ventricular function for prediction of survival in systemic light-chain amyloidosis: incremental value compared with clinical and biochemical markers. *J Am Coll Cardiol*. 2012;60:1067–76.
22. Sun JP, Stewart WJ, Yang XS, Donnell RO, Leon AR, Feller JM, et al. Differentiation of hypertrophic cardiomyopathy and cardiac amyloidosis from other causes of ventricular wall thickening by two-dimensional *strain* imaging echocardiography. *Am J Cardiol*. 2009;103:411–5.
23. Kraigher-Krainer E, Shah AM, Gupta DK, Santos A, Claggett B, Pieske B, et al. Impaired systolic function by *strain* imaging in heart failure with preserved ejection fraction. *J Am Coll Cardiol*. 2014;63:447–56.
24. Ho CY, Carlsen C, Thune JJ, Havndrup O, Bundgaard H, Farrohi F, et al. Echocardiographic *strain* imaging to assess early and late consequences of sarcomere mutations in hypertrophic cardiomyopathy. *Circ Cardiovasc Genet*. 2009;2:314–21.
25. Cifra B, Mertens L, Mirkhani M, Slorach C, Hui W, Manlhiot C, et al. Systolic and diastolic myocardial response to exercise in a healthy pediatric cohort. *J Am Soc Echocardiogr*. 2016;29:648–54.
26. Afonso L, Kondur A, Simegn M, Niraj A, Hari P, Kaur R, et al. Two-dimensional *strain* profiles in patients with physiological and pathological hypertrophy and preserved left ventricular systolic function: a comparative analyses. *BMJ Open*. 2012;2:e001390. Disponible en: <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2012-001390>.
27. Ternacle J, Bremont C, d'Humieres T, Faivre L, Doan HL, Gallet R, et al. Left ventricular dyssynchrony and 2D and 3D global longitudinal *strain* for differentiating physiological and pathological left ventricular hypertrophy. *Arch Cardiovasc Dis*. 2017;110:403–12.
28. Reisner SA, Lysyansky P, Agmon Y, Mutlak D, Lessick J, Friedman Z. Global longitudinal *strain*: a novel index of left ventricular systolic function. *J Am Soc Echocardiogr*. 2004;17:630–3.
29. Leitman M, Lysyansky P, Sidenko S, Shir V, Peleg E, Binenbaum M, et al. Two-dimensional *strain*-a novel software for real-time quantitative echocardiographic assessment of myocardial function. *J Am Soc Echocardiogr*. 2004;17:1021–9.
30. Dandel M, Knosalla C, Lehmkuhl H, Hetzer R. Non-Doppler Two-dimensional *strain* Imaging—Clinical Applications. *J Am Soc Echocardiogr*. 2007;20:234–43.
31. Iwahashi N, Nakatani S, Kanzaki H, Hasegawa T, Abe H, Kitakaze M. Acute improvement in myocardial function assessed by myocardial *strain* and *strain* rate after aortic valve replacement for aortic stenosis. *J Am Soc Echocardiogr*. 2006;19:1238–44.
32. Chin CWL, Everett RJ, Kwiecinski J, Vesey AT, Yeung E, Esson G, et al. Myocardial fibrosis and cardiac decompensation in aortic stenosis. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2017;10:1320–33.
33. Ng ACT, Delgado V, Bax JJ. Application of left ventricular *strain* in patients with aortic and mitral valve disease. *Curr Opin Cardiol*. 2018;33:470–8.
34. Kempny A, Diller GP, Kaleschke G, Orwat S, Funke A, Radke R, et al. Longitudinal left ventricular 2D *strain* is superior to ejection fraction in predicting myocardial recovery and symp-

- tomatic improvement after aortic valve implantation. *Int J Cardiol.* 2013;167:2239–43.
35. Galli E, Lancellotti P, Sengupta PP, Donal E. LV mechanics in mitral and aortic valve diseases: value of functional assessment beyond ejection fraction. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2014;7:1151–66.
 36. Miyazaki S, Daimon M, Miyazaki T, Onishi Y, Koiso Y, Nishizaki Y, et al. Global longitudinal *strain* in relation to the severity of aortic stenosis: a two-dimensional speckle-tracking study. *Echocardiography.* 2011;28:703–8.
 37. Lafitte S, Perlant M, Reant P, Serri K, Douard H, DeMaria A, et al. Impact of impaired myocardial deformations on exercise tolerance and prognosis in patients with asymptomatic aortic stenosis. *Eur J Echocardiogr.* 2009;10:414–9.
 38. Lancellotti P, Donal E, Magne J, Moonen M, O'Connor K, Daubert JC, et al. Risk stratification in asymptomatic moderate to severe aortic stenosis: the importance of the valvular, arterial and ventricular interplay. *Heart.* 2010;96:1364–71.
 39. Yingchoncharoen T, Gibby C, Rodriguez LL, Grimm RA, Marwick TH. Association of myocardial deformation with outcome in asymptomatic aortic stenosis with normal ejection fraction. *Circ Cardiovasc Imaging.* 2012;5:719–25.
 40. Levy F, Debry N, Labeschat AL, Meimoun P, Malaquin D, Marechaux S, et al. Echocardiographic prediction of postoperative atrial fibrillation after aortic valve replacement for aortic stenosis: a two-dimensional speckle tracking left ventricular longitudinal *strain* multicentre pilot study. *Arch Cardiovasc Dis.* 2012;105:499–506.
 41. Carstensen HG, Larsen LH, Hassager C, Kofoed KF, Dalsgaard M, Kristensen CB, et al. Tissue Velocities and Myocardial Deformation in Asymptomatic and Symptomatic Aortic Stenosis. *J Am Soc Echocardiogr.* 2015;28:969–80.
 42. Lee HF, Hsu LA, Chan YH, Wang CL, Chang CJ, Kuo CT. Prognostic value of global left ventricular *strain* for conservatively treated patients with symptomatic aortic stenosis. *J Cardiol.* 2013;62:301–6.
 43. Kearney LG, Lu K, Ord M, Patel SK, Profitis K, Matalanis G, et al. Global longitudinal strain is a strong independent predictor of all-cause mortality in patients with aortic stenosis. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging.* 2012;13:827–33.
 44. Kusunose K, Goodman A, Parikh R, Barr T, Agarwal S, Popovic ZB, et al. Incremental prognostic value of left ventricular global longitudinal *strain* in patients with aortic stenosis and preserved ejection fraction. *Circ Cardiovasc Imaging.* 2014;7:938–45.
 45. Ng ACT, Prihadi EA, Antoni ML, Bertini M, Ewe SH, Ajmone Marsan N, et al. Left ventricular global longitudinal *strain* is predictive of all-cause mortality independent of aortic stenosis severity and ejection fraction. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging.* 2018;19:859–67.
 46. Kamperidis V, van Rosendaal PJ, Ng AC, Katsanos S, van der Kleij F, Debonnaire P, et al. Impact of flow and left ventricular *strain* on outcome of patients with preserved left ventricular ejection fraction and low gradient severe aortic stenosis undergoing aortic valve replacement. *Am J Cardiol.* 2014;114:1875–81.
 47. Lindqvist P, Zhao Y, Bajraktari G, Holmgren A, Henein MY. Aortic valve replacement normalizes left ventricular twist function. *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2011;12:701–6.
 48. Delgado V, Tops LF, Van Bommel RJ, Van der Kleij F, Marsan NA, Klautz RJ, et al. *Strain* analysis in patients with severe aortic stenosis and preserved left ventricular ejection fraction undergoing surgical valve replacement. *Eur Heart J.* 2009;30:3037–47.
 49. Dahl JS, Videbæk L, Poulsen MK, Rudbæk TR, Pellikka PA, Møller JE. Global *strain* in Severe Aortic Valve Stenosis Relation to Clinical Outcome After Aortic Valve Replacement. *Circ Cardiovasc Imaging.* 2012;5:613–20.
 50. Tiwari N1, Patel K. Newer echocardiographic techniques for aortic-valve imaging: Clinical aids today, clinical practice tomorrow. *World J Cardiol.* 2018;10:62–73.
 51. Dulgheru R, Pibarot P, Sengupta PP, Piérard LA, Rosenhek R, Magne J, et al. Multimodality imaging strategies for the assessment of aortic stenosis: view point of the Heart Valve Clinic International Data Base (HAVEC) group. *Circ Cardiovasc Imaging.* 2016;9:e004352. Disponible en: <https://doi.org/10.1161/CIRCIMAGING.115.004352>.
 52. Carasso S, Cohen O, Mutlak D, Adler Z, Lessick J, Reisner SA, et al. Differential effects of afterload on left ventricular long- and short-axis function: insights from a clinical model of patients with aortic valve stenosis undergoing aortic valve replacement. *Am Heart J.* 2009;158:540–5.
 53. Ohara Y, Fukuoka Y, Tabuchi I, Sahara S, Hosogi S, Nishimoto M, et al. The impairment of endocardial radial *strain* is related to aortic stenosis severity in patients with aortic stenosis and preserved LV ejection fraction using two-dimensional speckle tracking echocardiography. *Echocardiography.* 2012;29:1172–80.
 54. Agricola E, Bombardini T, Oppizzi M, Margonato A, Pisani M, Melisurgo G, et al. Usefulness of latent left ventricular dysfunction assessed by Bowditch Treppe to predict stress-induced pulmonary hypertension in minimally symptomatic severe mitral regurgitation secondary to mitral valve prolapse. *Am J Cardiol.* 2005;95:414–7.
 55. Witkowski TG, Thomas JD, Debonnaire PJ, Delgado V, Hoke U, Ewe SH, et al. Global longitudinal *strain* predicts left ventricular dysfunction after mitral valve repair. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging.* 2013;14:69–76.
 56. Alashi A, Mentias A, Patel K, Gillinov AM, Sabik JF, Popović ZB, et al. Synergistic utility of brain natriuretic peptide and left ventricular global longitudinal *strain* in asymptomatic patients with significant primary mitral regurgitation and preserved systolic function undergoing mitral valve surgery. *Circ Cardiovasc Imaging.* 2016;9. Disponible en: <https://doi.org/10.1161/CIRCIMAGING.115.004451>, pii:e004451.
 57. Mentias A, Naji P, Gillinov AM, Rodriguez LL, Reed G, Mihaljevic T, et al. *Strain* echocardiography and functional capacity in asymptomatic primary mitral regurgitation with preserved ejection fraction. *J Am Coll Cardiol.* 2016;68:1974–86.
 58. Magne J, Mahjoub H, Pierard LA, O'Connor K, Pirllet C, Pibarot P, et al. Prognostic Importance of Brain Natriuretic Peptide and Left Ventricular Longitudinal Function in Asymptomatic Degenerative Mitral Regurgitation Prognostic importance of brain natriuretic peptide and left ventricular longitudinal function in asymptomatic degenerative mitral regurgitation. *Heart.* 2012;98:584–91.
 59. Kamperidis V, Marsan NA, Delgado V, Bax JJ. Left ventricular systolic function assessment in secondary mitral regurgitation: left ventricular ejection fraction versus speckle tracking global longitudinal strain. *Eur Heart J.* 2016;37:811–6.
 60. Kusunose K, Popović ZB, Motoki H, Marwick TH. Prognostic significance of exercise induced right ventricular dysfunction in asymptomatic degenerative mitral regurgitation. *Circ Cardiovasc Imaging.* 2013;6:167–76.
 61. Opie LH. The ever expanding spectrum of ischemic left ventricular dysfunction. *Cardiovasc Drugs Ther.* 1994;8:297–304.
 62. Skulstad H, Edvardsen T, Urheim S, Rabben SI, Stugaard M, Lyseggen E, et al. Postsystolic Shortening in Ischemic Myocardium Circulation. 2002;106:718–24.
 63. Leitman M, Lysyansky P, Sidenko S, Shir V, Peleg E, Binenbaum M, et al. Two-dimensional *strain*-a novel software for real-time quantitative echocardiographic assessment of myocardial function. *J Am Soc Echocardiogr.* 2004;17:1021–9.
 64. Haugaa KH, Grenne BL, Eek CH, Ersbøll M, Valeur N, Svendsen JH, et al. *Strain* echocardiography improves risk prediction of

- ventricular arrhythmias after myocardial infarction. *J Am Coll Cardiol Img.* 2013;6:841–50.
65. Biering-Sørensen T, Biering-Sørensen SR, Olsen FJ, Sengeløv M, Jørgensen PG, Mogelvang R, et al. Global longitudinal *strain* by echocardiography predicts long-term risk of cardiovascular morbidity and mortality in a low-risk general population: the Copenhagen City heart study. *Circ Cardiovasc Imaging.* 2017;10:e005521. Disponible en: <https://doi.org/10.1161/CIRCIMAGING.116.005521>.
 66. Roes SD, Mollema SA, Lamb HJ, van der Wall EE, de Roos A, Bax JJ. Validation of echocardiographic two-dimensional speckle tracking longitudinal *strain* imaging for viability assessment in patients with chronic ischemic left ventricular dysfunction and comparison with contrast-enhanced magnetic resonance imaging. *Am J Cardiol.* 2009;104:312–7.
 67. Biering-Sørensen T, Hoffmann S, Mogelvang R, Zeeberg Iversen A, Galatius S, Fritz-Hansen T, Bech J, Jensen JS. Myocardial *strain* analysis by 2-dimensional speckle tracking echocardiography improves diagnostics of coronary artery stenosis in stable angina pectoris. *Circ Cardiovasc Imaging.* 2014;7:58–65.
 68. Radwan H, Hussein E. Value of global longitudinal *strain* by two dimensional speckle tracking echocardiography in predicting coronary artery disease severity. *Egypt Heart J.* 2017;69:95–101.
 69. Rost C, Rost MC, Breithardt OA, Schmid M, Klinghammer L, Stumpf C. Relation of functional echocardiographic parameters to infarct scar transmural by magnetic resonance imaging. *J Am Soc Echocardiogr.* 2014;27:767–74.
 70. Omar AMS, Narula S, Abdel Rahman MA, Pedrizzetti G, Raslan H, Rifaie O, et al. Precision phenotyping in heart failure and pattern clustering of ultrasound data for the assessment of diastolic dysfunction. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2017;10:1291–303.
 71. Kosmala W, Rojek A, Przewlocka-Kosmala M, Mysiak A, Karolko B, Marwick TH, et al. Contributions of nondiastolic factors to exercise intolerance in heart failure with preserved ejection fraction. *J Am Coll Cardiol.* 2016;67:659–70.
 72. Kraigher-Krainer E, Shah AM, Gupta DK, Santos A, Claggett B, Pieske B, et al. Impaired systolic function by *strain* imaging in heart failure with preserved ejection fraction. *J Am Coll Cardiol.* 2014;63:447–56.
 73. Shah AM, Claggett B, Sweitzer NK, Shah SJ, Anand IS, Liu L, et al. Prognostic importance of impaired systolic function in heart failure with preserved ejection fraction and the impact of spironolactone. *Circulation.* 2015;132:402–14.
 74. Morris DA, Ma XX, Belyavskiy E, Aravind Kumar R, Kropf M, Kraft R, et al. Left ventricular longitudinal systolic function analysed by 2D speckle-tracking echocardiography in heart failure with preserved ejection fraction: a metaanalysis. *Open Heart.* 2017;4:e000630. Disponible en: <https://doi.org/10.1136/openhrt-2017-000630>.
 75. Hoit BD. Evaluation of left atrial function: current status. *Struct Heart.* 2017;1:109–20.
 76. Buggey J, Hoit BD. Left atrial *strain*: measurement and clinical application. *Curr Opin Cardiol.* 2018;33:479–85.
 77. Vieira MJ, Teixeira R, Goncalves L, Gersh BJ. Left atrial mechanics: echocardiographic assessment and clinical implications. *J Am Soc Echocardiogr.* 2014;27:463–78.
 78. Pathan F, D'Elia N, Nolan MT, Marwick TH, Negishi K. Normal ranges of left atrial *strain* by speckle-tracking echocardiography: a systematic review and meta-analysis. *J Am Soc Echocardiogr.* 2017;30:59. <http://dx.doi.org/10.1016/j.echo.2016.09.007>, e8-70.e8.
 79. Singh A, Addetia K, Maffessanti F, Mor-Avi V, Lang RM. LA *strain* for categorization of LV diastolic dysfunction. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2017;10:735–43.
 80. Morris DA, Belyavskiy E, Aravind-Kumar R, Kropf M, Frydas A, Braunauer K, et al. Potential usefulness and clinical relevance of adding left atrial *strain* to left atrial volume index in the detection of left ventricular diastolic dysfunction. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2017;piiS1936–878X:30900–2, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcmg.2017.07.029>.
 81. Cameli M, Sparla S, Losito M, Righini FM, Menci D, Lisi M, et al. Correlation of left atrial *strain* and Doppler measurements with invasive measurement of left ventricular end-diastolic pressure in patients stratified for different values of ejection fraction. *Echocardiography.* 2016;33:398–405.
 82. Aung SM, Güler A, Güler Y, Huraibat A, Karabay CY, Akdemir I. Left atrial *strain* in heart failure with preserved ejection fraction. *Herz.* 2017;42:194–9.
 83. von Roeder M, Rommel KP, Kowallick JT, Blazek S, Besler C, Fengler K, et al. Influence of left atrial function on exercise capacity and left ventricular function in patients with heart failure and preserved ejection fraction. *Circ Cardiovasc Imaging.* 2017;10. Disponible en: <https://doi.org/10.1161/CIRCIMAGING.116.005467>. pii:e005467.
 84. Freed BH, Daruwalla V, Cheng JY, Aguilar FG, Beussink L, Choi A, et al. Prognostic utility and clinical significance of cardiac mechanics in heart failure with preserved ejection fraction: importance of left atrial *strain*. *Circ Cardiovasc Imaging.* 2016;9. Disponible en: <https://doi.org/10.1161/CIRCIMAGING.115.003754>. pii:e003754.
 85. Mor-Avi V, Lang RM, Badano LP, Belohlavek M, Cardim NM, Derumeaux G, et al. Current and evolving echocardiographic techniques for the quantitative evaluation of cardiac mechanics: ASE/EAE consensus statement on methodology and indications endorsed by the Japanese Society of Echocardiography. *Eur J Echocardiogr.* 2011;12:167–205.